

ESTIMASI CITRA POLARISASI LANGIT

Edi Susanto¹, Dwi Nuri Putri Dharma¹, Riwaldi Pudja², Remi Senjaya³

^{1,2}Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Gunadarma

³Fakultas Teknologi Industri, Universitas Gunadarma

E-mail: Edy_kribo@yahoo.com, dnpd_world@yahoo.com, japugohan@gmail.com, remi_senjaya@yahoo.com

ABSTRAK

Polarisasi pada langit memiliki informasi yang dapat digunakan oleh serangga sebagai navigasi. Polarisasi ini terjadi akibat hamburan cahaya (Rayleigh Scattering), Sinar matahari yang bersifat tidak terpolarisasi akan terhambur setelah melewati atmosfer sehingga cahaya tersebut menjadi terpolarisasi parsial linear, yang kemudian membentuk pola *e-vector*, pola inilah yang biasa digunakan sebagai referensi arah dari polarisasi langit. Paper ini terkait referensi arah dari polarisasi langit dengan mengekstrak informasi derajat dan sudut polarisasi, dan kaitannya dengan posisi matahari. Pembahasan lebih lanjut meliputi proses terjadinya polarisasi di langit, metode pengambilan citra yang kemudian dilanjutkan dengan pengolahan citra tersebut, dan pengaruh-pengaruh proses pengambilan dan pengolahan gambar terhadap hasil pola polarisasi yang didapatkan.

Kata Kunci: Vektor Stokes, derajat polarisasi, sudut polarisasi, posisi matahari.

1. PENDAHULUAN

Polarisasi dan intensitas cahaya telah lama di pelajari dengan berbagai macam tujuan dan alasan, salah satu contoh studi yang menarik adalah membahas tentang fenomena alam seperti warna pada langit dan pelangi (K. L. Cuolson, 1988) (A. T. Young, 1982).

Cahaya matahari '*incident light*' merupakan cahaya yang tidak terpolarisasi, namun cahaya tersebut dapat menjadi cahaya yang terpolarisasi, karena beberapa hal, yaitu: pembiasan, pemantulan, dan penghamburan cahaya. Pada paper ini kami akan fokuskan dengan hal yang berkaitan dengan polarisasi akibat penghamburan cahaya, yang dapat dikembangkan sebagai navigasi arah seperti yang dilakukan oleh serangga. Polarisasi langit dapat dengan mudah diobservasi dengan menggunakan '*polarizer*' linear sederhana.

Pola polarisasi yang ada di langit biasa digunakan oleh serangga sebagai orientasi arah gerak mereka, hal ini serupa dengan manusia yang menggunakan kompas sebagai navigasi penunjuk arah (utara, selatan, timur, barat). Dalam beberapa *paper*, banyak studi yang membahas mengenai orientasi pada lebah. Lebah dapat mendeteksi cahaya terpolarisasi linear dan menggunakannya sebagai kompas dengan mengetahui hubungan antara pola polarisasi langit dan posisi matahari, meskipun mereka hanya dapat melihat sebagian kecil pola tersebut jika terjadi kondisi langit yang berawan (S. Rossel. dan R. Wehner, 1986) (S. Rossel. dan R. Wehner, 1982). Posisi yang diasumsikan oleh lebah pada *e-vector* tertentu tidak perlu sesuai (*correspond*) terhadap posisi yang sebenarnya pada langit. Oleh sebab itu, mereka menggunakan generalisasi orientasi untuk pola polarisasi langit (S. Rossel. dan R. Wehner, 1979).

Dahulu, para pendaki gunung menggunakan posisi matahari sebagai navigasi, tetapi ketika posisi

matahari sedang terhalang oleh awan tebal ataupun sedang berada di bawah horizon, mereka menggunakan suatu alat untuk mengetahui arah/pola polarisasi dari cahaya yang tampak pada langit, kemudian mereka dapat mengetahui hubungan antara orientasi dari polarisasi dengan posisi dari matahari (G. S. Smith, 2006). Polarisasi cahaya di langit yang terjadi karena proses penghamburan cahaya (*Rayleigh-Scattering*) di langit (J. E. Hansen dan L. D. Travis, 1974), menyebabkan cahaya menjadi terpolarisasi linear parsial, hal inilah yang membentuk pola polarisasi di langit dan dapat digunakan sebagai referensi arah dengan mengambil informasi-informasi yang terdapat pada polarisasi tersebut seperti sudut polarisasi (AoP) dan derajat polarisasi (DoP).

Bagian kedua paper ini akan membahas tentang latar belakang mengapa topic ini layak di publikasikan dan teori tentang polarisasi yang diakibatkan oleh penghamburan cahaya. Bagian ketiga membahas teknik pengambilan dan pengolahan gambar (citra). Pada bagian keempat kami akan menyajikan hasil dari pengolahan citra. Dan kesimpulan dari bagian-bagian sebelumnya

2. LATAR BELAKANG DAN TEORI

Secara konvensional, penginderaan cahaya oleh manusia dilakukan dengan menangkap intensitas dan warna cahaya yang tampak. Namun pada kejadian dari polarisasi di langit, terdapat informasi-informasi tambahan yang dapat di tangkap dan di manfaatkan sebagai orientasi arah seperti yang di lakukan oleh serangga (M. Iqbal, O. Morel, dan F. Mariedeau, 2008). Dengan menggunakan kamera dan *polarizer*, kita dapat mengekstrak informasi-informasi tersebut dan mengolahnya menjadi suatu citra polarisasi yang dapat di manfaatkan selanjutnya. Informasi yang di maksud adalah sudut polarisasi (AoP), dan derajat polarisasi (DoP) yang

disebabkan oleh proses hamburan seperti yang telah dijelaskan pada bagian pendahuluan.

Dalam pengolahan citra/ gambar, representasi setiap pikselnya menggunakan suatu matrik. Teknik representasi tersebutlah yang digunakan dalam mewakili keadaan intensitas cahaya di langit, teknik representasi tersebut dengan menggunakan *Mueller matrix* dan *Stokes parameter*.

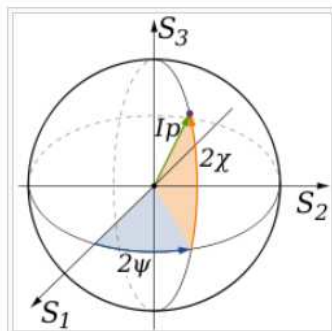
2.1 Matrik Mueller dan Parameter Stokes

Matrik Mueller merupakan matrik yang merepresentasikan keadaan suatu cahaya di alam yang tidak beraturan orientasinya. Matrik Mueller dapat memanipulasi parameter Stokes dengan menggunakan perkalian vector antara matrik Mueller (4x4) dan parameter Stokes vector (4x1).

$$M(\alpha) = \begin{bmatrix} 1 & \cos 2\alpha & \sin 2\alpha & 0 \\ \cos 2\alpha & \cos^2 2\alpha & \cos 2\alpha \sin 2\alpha & 0 \\ \sin 2\alpha & \cos 2\alpha \sin 2\alpha & \sin^2 2\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$M(\alpha)$ merupakan matrik mueller dan α merupakan sudut polarizer. Pada umumnya sudut yang digunakan dalam pengambilan gambar adalah 0° , 45° , dan 90° . Atau bisa dilakukan dengan sudut lainnya, dengan catatan harus ada satu pasang sudut yang tegak lurus, seperti 0° dan 90° .

Untuk merepresentasikan koordinat bumi yang berbentuk bola, maka kita menggunakan stokes vector yang terdiri dari empat elemen yaitu S_0 (intensitas total), S_1 (intensitas cahaya linear), S_2 (intensitas cahaya linear 45°) dan S_3 (intensitas cahaya yang orientasi melingkar). Pada fenomena polarisasi langit yang terjadi akibat penghamburan cahaya (*Rayleigh scattering*) maka nilai S_3 adalah 0, karena sifat cahaya yang terpolarisasi adalah parsial linear.



Gambar 1. Koordinat vector-stokes

Hasil dari perkalian vector antara Mueller matrik dengan stokes vector menghasilkan nilai-nilai vector yang akan digunakan dalam proses perhitungan selanjutnya.

$$Ip(\alpha) = M(\alpha) * [s_0 \ s_1 \ s_2 \ s_3] \quad (2)$$

$$Ip(\alpha) = \frac{1}{2} (s_0 + s_1 \cos 2\alpha + s_2 \sin 2\alpha) \quad (3)$$

Ip merupakan intensitas cahaya dalam suatu piksel pada suatu gambar. Kemudian setiap

intensitas tersebut akan menghasilkan persamaan-persamaan yang dapat di substitusikan untuk menemukan setiap nilai S_0 , S_1 , dan S_2 .

2.2 Sudut dan Derajat Polarisasi

Sudut polarisasi merupakan sudut yang terbentuk antara garis normal pengamat terhadap vektor molekul yang diamati. Sudut polarisasi linear (ψ) ini hanya bergantung pada nilai S_1 dan S_2 .

$$\psi = \frac{1}{2} \arctan \frac{s_2}{s_1} \quad (4)$$

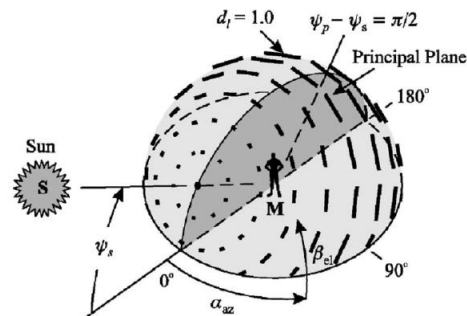
Sedangkan derajat polarisasi (DoP) merupakan besarnya rasio antara cahaya yang terpolarisasi dengan intensitas cahaya total.

$$DoP = \frac{I_{\text{terpolarisasi}}}{I_{\text{total}}} \quad (5)$$

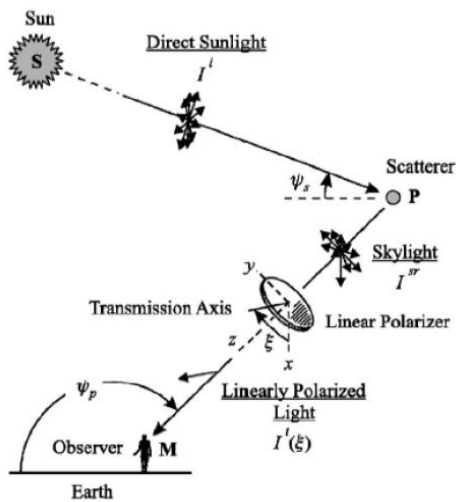
Atau dalam vektor Stokes adalah :

$$DoP = \frac{\sqrt{s_1^2 + s_2^2}}{s_0} \quad (6)$$

Seperti yang telah disebutkan diatas bahwa dalam pengolahan citra/ gambar, representasi setiap pikselnya menggunakan suatu matrik. Karena setiap piksel pada citra mempunyai data tersendiri maka setiap piksel dalam citra juga akan mempunyai S_0 , S_1 , S_2 tersendiri pula dan hal ini otomatis menyebabkan setiap piksel mempunyai DoP dan AoP yang berbeda, dan nilai-nilai yang berbeda-beda inilah yang digunakan untuk mengetahui posisi matahari.



Gambar 2. Diagram polarisasi untuk keseluruhan langit ketika $\psi_s = 35^\circ$. Panjang dari garis yang tebal mengindikasikan derajat polarisasi, d_1 (G. S. Smith, 2006)



Gambar 3. Gambar skematik observasi polarisasi pada langit (G. S. Smith, 2006)

Dari gambar-gambar diatas kita akan mendapatkan persamaan

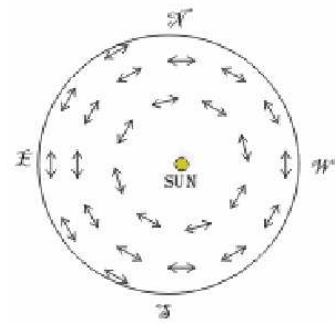
$$d_1 = \frac{1 - \cos^2(\Psi_p - \Psi_s)}{1 + \cos^2(\Psi_p - \Psi_s)} \quad (7)$$

Dimana d_1 adalah Dop, Ψ_p merupakan sudut antara pengamat dan molekul yang diamati, Ψ_s merupakan sudut antara pengamat dengan matahari. Sedangkan $(\Psi_p - \Psi_s)$ merupakan sudut antara molekul yang diamati dengan matahari. Dari persamaan dan gambar diatas kita dapat mengetahui hubungan antara DoP dan posisi matahari yang akan menjadi referensi untuk petunjuk arah yang kita bicarakan diatas

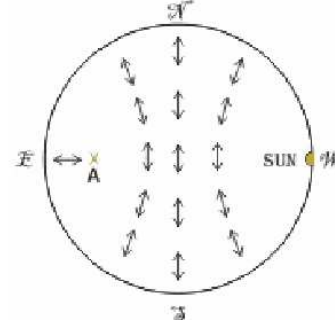
2.3 Pola Polarisasi

Polarisasi di atas terjadi ketika cahaya melalui atmosfer kita. Dan fenomena ini diketahui sebagai polarisasi parsial oleh hamburan. Proses ini terjadi terus menerus pada atmosfer (*multiple scattering*) dan membentuk sebuah pola horizontal diseluruh langit dengan nama *e-vektor* (István Pomozi, 2001)

Secara umum, langit terpolarisasi bersinggungan ke lingkaran yang terpusat di matahari dan polarisasi maksimum ditemukan ketika sudut hamburnya 90° . Oleh karena itu ketika matahari berada dekat dengan zenith, langit akan terpolarisasi horizontal diseluruh cakrawala. Dengan kata lain ketika matahari terbenam di barat, langit akan secara maksimal terpolarisasi sepanjang garis meridian dengan arah vertical dari utara ke selatan.



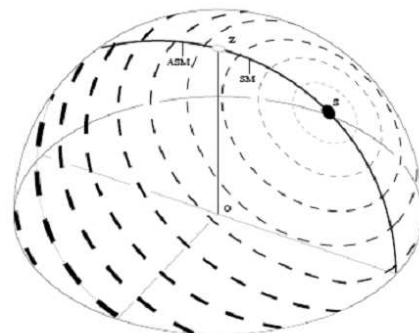
Gambar 4. Matahari berada di dekat zenith, Langit akan terpolarisasi horizontal



Gambar 5. Ketika terbenam, langit akan terpolarisasi secara vertical

Dari hal di atas dapat kita ketahui bahwa pola polarisasi akan berotasi berdasarkan posisi matahari terhadap zenith dan selama berotasi pola polarisasi ini memperthankan 2 sifat penting, yaitu:

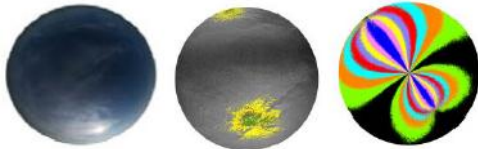
- Memiliki garis simetri dengan titik tengah zenith membentuk sudut 180° . Titik posisi matahari berada disebut solar meridian (SM), dan cerminannya terhadap zenith disebut anti solar meridian (ASM).
- E-Vector selalu tegak lurus terhadap solar meridian. (Lambrinos et al, 2000)



Gambar 6. Representasi 3D dari pola polarisasi yang dihasilkan dari hamburan cahaya di langit. Z merupakan zenith, S merupakan matahari, SM merupakan solar meridian, ASM merupakan anti solar meridian dan O merupakan pengamat (Lambrinos et al. 2000)

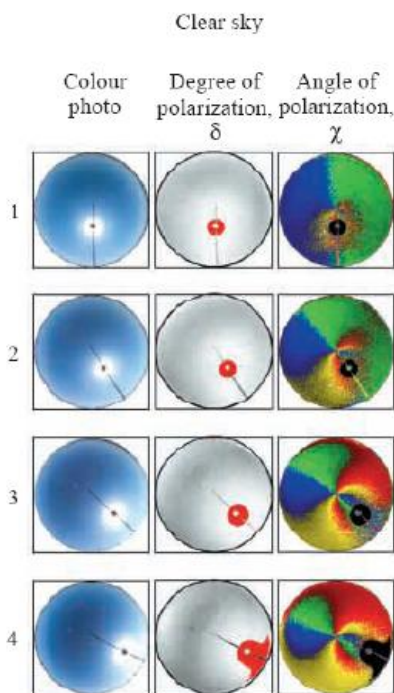
Pola polarisasi diatas memiliki tiga parameter penting yang perlu diketahui dan telah kita bahas

sebelumnya yaitu DoP, AoP, SM(posisi matahari) dan ASM. Posisi matahari ini dapat direpresentasikan dari DoP, dimana DoP untuk sun dan antisun berkisar antara 0-0.1. Sun dan antisun selalu mempunyai posisi yang saling berlawanan terhadap zenithnya sehingga bila dihubungkan akan membentuk suatu garis lurus.

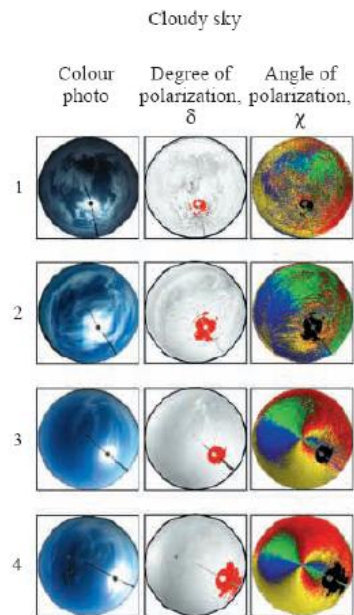


Gambar 7. Dari kiri ke kanan (keadaan langit, dop, aop)

Pada umumnya ada tiga kondisi langit yang biasanya digunakan untuk dijadikan objek pengamatan yaitu: Cerah, Berawan, dan mendung. Dan dari tiga kondisi tersebut yang memiliki hasil pencitraan yang baik untuk DoP dan AoP nya adalah pada saat kondisi langit cerah, dan yang memiliki hasil kurang bagus atau cenderung tidak terpola adalah kondisi langit yang mendung.

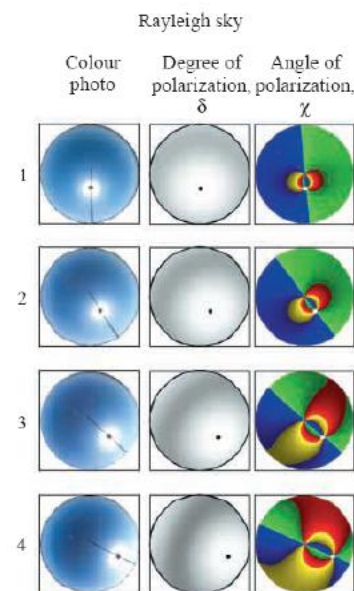


Gambar 8. Dari kiri ke kanan (keadaan langit, dop, aop) pada saat langit cerah(I. Promozi, G. Horvath, dan R. Wehner,2001).



Gambar 9. Dari kiri ke kanan (keadaan langit, dop, aop) pada saat langit berawan[11]

Adapun *Rayleigh sky* merupakan gambaran atau kondisi langit yang benar-benar cerah dan tidak tertutup awan, biasanya kondisi ini adalah kondisi yang terjadi dari simulasi program dengan menggunakan perhitungan posisi bumi dan matahari(I. Promozi, G. Horvath, dan R. Wehner,2001).



Gambar 10. Dari kiri ke kanan (keadaan langit, dop, aop) *rayleigh sky*(I. Promozi, G. Horvath, dan R. Wehner,2001).

3. METODE PENGAMBILAN, PENGOLAHAN GAMBAR, DAN KESIMPULAN

3.1 Metode pengambilan gambar

Metode pengambilan gambar yang kami lakukan ialah dengan menggunakan kamera CCD yang disambungkan dengan polarizer dan cermin hiperbolik. Kami mengambil tiga gambar dengan sudut polarizer sebesar 0° , 45° , dan 90° . karena sudut-sudut ini akan mempermudah kami dalam memenuhi kriteria dalam menghitung S_0 , S_1 , dan S_2 . Pengambilan gambar dilakukan pada siang hari dengan kondisi langit berawan. Gambar ini berasal dari kawan yang sedang belajar di Le Creusot (Perancis) dengan posisi longitude (4.43) dan latitude (46.8).

3.2 Metode Pengolahan Gambar

Pada metode pengolahan gambar ini, kami menggunakan aplikasi Matlab sebagai software pengolah gambar.

Dari dimensi gambar yang berupa pixels-pixels akan diubah menjadi suatu matrix, dengan ordo berukuran height x width gambar.

Dari persamaan 2.3 kita dapat menghitung nilai S_0, S_1, S_2 untuk tiap-tiap piksel dengan cara mensubstitusikan setiap intensitas pada setiap sudut polarizer dari gambar yang kami miliki.

$$\begin{aligned} I_p(0) &= \frac{1}{2} (s_0 + s_1 \cos 0^\circ + s_2 \sin 0^\circ) \\ &= \frac{1}{2} (s_0 + s_1) \\ I_p(45) &= \frac{1}{2} (s_0 + s_1 \cos 90^\circ + s_2 \sin 90^\circ) \\ &= \frac{1}{2} (s_0 + s_2) \\ I_p(90) &= \frac{1}{2} (s_0 + s_1 \cos 180^\circ + s_2 \sin 180^\circ) \\ &= \frac{1}{2} (s_0 - s_1) \end{aligned} \quad (8)$$

Dan dengan mensubstitusikan persamaan diatas maka kita akan mendapat

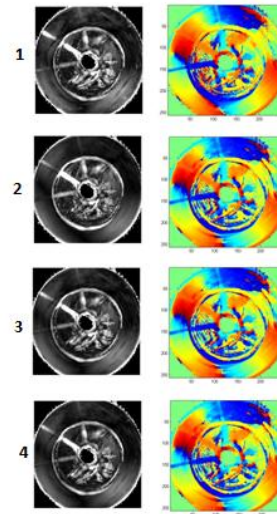
$$\begin{aligned} s_0 &= I_p(0^\circ) + I_p(90^\circ) \\ s_1 &= I_p(0^\circ) - I_p(90^\circ) \\ s_2 &= (2 \times I_p(45^\circ)) - I_p(0^\circ) + I_p(90^\circ) \end{aligned} \quad (9)$$

Dengan menggunakan persamaan diatas untuk ketiga gambar yang kami miliki pada program Matlab maka kami akan mendapatkan S_0 , S_1 , S_2 masing-masing piksel, dan setelah itu maka kami dapat mencari DoP dan AoP untuk tiap pikselnya.

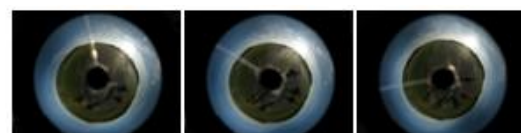
Dan dengan pengolahan pada Matlab pula maka kami akan mendapatkan *image* yang menggambarkan DoP dan AoP. Dan dari DoP dan AoP tersebut kita dapat menentukan posisi sun dan antisunnya. Dan hal-hal inilah yang kita gunakan sebagai referensi untuk navigasi.

4. HASIL PENGOLAHAN CITRA

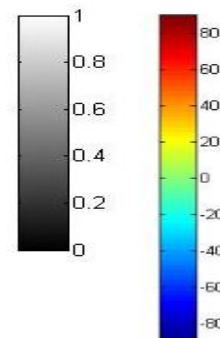
Setelah melakukan pengolahan dengan cara yang telah kami sebutkan diatas pada gambar yang kami miliki maka kami memiliki hasil sebagai berikut



Gambar 11. Hasil pengolahan citra, Gambar Merupakan gambaran DoP (kiri) dan AoP (kanan) untuk pengamatan berfokus diwarna (1)merah (2)hijau (3)biru (4)grey



Gambar 12. Gambar asli dari kiri ke kanan Gambar dengan sudut polarizer sebesar 0° , 45° , 90°



Gambar 13. Rentang warna dari hasil pengolahan citra

Gambar yang kami miliki, bila dibandingkan dengan gambar dari kondisi *rayleigh* sebelumnya, akan terlihat bahwa hasil pengolahan citra memiliki pola yang acak dan berbeda dari kondisi seharusnya, hal ini terjadi karena faktor pergeseran posisi saat pengambilan gambar. Pergeseran gambar yang terjadi dikarenakan gambar yang kami ambil untuk setiap sudut *polarizer* yang berbeda diambil secara manual, sehingga ketika mengubah sudut *polarizer* untuk setiap gambar, kamera ikut bergerak dan tidak mengambil objek tepat pada posisi yang sama dengan gambar sebelumnya. Hal ini dapat terlihat dari ketiga gambar yang kami miliki, dari gambar-gambar itu terlihat jelas bahwa kamera tidak mengambil posisi objek yang persis sama untuk setiap sudut *polarizer*. Hal ini sangat berpengaruh pada data yang diolah, apabila kita bandingkan dengan pola polarisasi yang didapat dari gambar yang diambil dengan kamera yang secara otomatis mengambil beberapa gambar dengan beberapa sudut *polarizer* yang berbeda (yang berarti objek yang diambil pada setiap gambar persis sama) maka pola polarisasi yang dihasilkan akan mendekati pola pada kondisi *rayleigh sky*, atau setidaknya masih akan terlihat cukup jelas pola polarisasinya.

Berkaitan dengan pola acak yang kami dapat maka kami akan menganalisa tingkat kesalahan AoP dan DoP yang tampak pada gambar yang kami miliki. Dan dikarenakan pola polarisasi hasil pengolahan citra yang kami miliki adalah acak maka kami akan menghitung kesalahan DoP dan AoP dari posisi matahari (karena hanya posisi ini yang paling mudah diindikasikan keberadaan dan nilai sebenarnya).

Dengan menggunakan program matlab pertama-tama kami mengambil posisi matahari sebagai data yang akan dihitung dan dengan mengindikasikan nilai DoP yang seharusnya adalah 0 (tidak terpolarisasi) dengan batas toleransi 0.05 kami menghitung berapa persen kesalahan yang ada pada posisi matahari (*sun*). Begitu pula dengan AoP dengan mengindikasikan nilai AoP yang seharusnya adalah 0 dan dengan batas toleransi 10 sampai -10 maka kesalahan pada AoP dapat dipersentasikan.

Tabel 1. Nilai kesalahan (eror) dari DoP dan AoP pada posisi matahari

	Persentasi kesalahan	
	DoP	AoP
Merah	17.4%	55.4%
Hijau	16.6%	56.2%
Biru	20.4%	52.45%
Gray	17.2%	55.6%

4.1 Kesimpulan

Pola polarisasi memiliki karakteristik yang khas seperti: memiliki sudut polarisasi (AoP) yang berlawanan pada koordinat yang bercerminan dengan garis azimut, derajat polarisasi terkecil

adalah tepat pada posisi matahari ataupun anti-matahari. Dari persamaan (7), kami dapat menyimpulkan sudut polarisasi akan semakin kecil bila titik observasi mendekati posisi matahari.

Dalam pengolahan citra, yang perlu diperhatikan adalah posisi matahari dan garis azimut yang melintasi tepat pada posisi matahari. Pada umumnya, sangat sulit dalam merepresentasikan pola polarisasi pada kondisi langit berawan.

Pola yang kami dapatkan merupakan hasil representasi dari tingkat error yang besar. Hal ini di karenakan pergeseran posisi saat pengambilan gambar. Tetapi, kami pun tetap berkeyakinan bahwa suatu saat nanti pola yang acak tersebut dapat dikaji lebih lanjut agar dapat mendapatkan informasi navigasi, karena harga kamera otomatis untuk polarisasi yang masih tergolong sangat mahal.

PUSTAKA

- K. L. Coulson, *Polarization and Intensity of Light in the Atmosphere*. A. Deepak, Hampton, Va., 1988
- A. T. Young, *Rayleigh scattering*. Phys. Today **35**, 42–48, 1982
- rossel, S. dan Wehner, R. *Polarization vision in bees*. *nature* vol. 32. 11 September 1986
- Rossel, S. dan Wehner, R. (1982). *The Bee's Map of The E-Vector Pattern In The Sky*.
- Rossel, S., Wehner, R. & Lindauer, M. (1979) J. Comp. Physiol. 125, 1-12.
- Smith, G. S. (2006). *The polarization of skylight : an example from nature*
- Iqbal, M., Morel, O., dan Mariedeau, F. *Perkembangan Riset Aplikasi Polarisasi Citra Dari Hamburan Cahaya di Langit Biru Sebagai Kompas Penunjuk Arah Alternatif*
- Hansen, J. E. dan Travis, L. D. (1974). *Light scattering in planetary Atmospheres*
http://en.wikipedia.org/wiki/Stokes_parameters
<http://www.polarization.com/sky/sky.html>
- Promozi, I., Horvath, G., dan Wehner, R. (2001) *How The Clear-Sky Angle Of Polarization Pattern Continues Underneath Clouds: Full-Sky Measurements And Implications For Animal Orientation*.